Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 1, Spring. 2019, p. 141-155

نشریه پژوهش‌های زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۱۵۵-۱۴۱

شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد ذرت (*Zea mays*) تحت شرایط کم‌آبیاری در دشت مغان

امیرعباس رستمی اجیرلو[1*]، محمدرضا اصغری پور[2]، احمد قنبری[3]، مهدی جودی[4]، محمود خرمی وفا[5]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۳۰

چکیده

در این پژوهش با استفاده از مدل AquaCrop عملکرد دانه، زیست‌توده و طول دوره رشد سه هیبرید ذرت تحت شرایط اقلیم آینده، در تیمارهای مختلف آبیاری شبیه‌سازی شد. به این منظور، از داده‌های بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی مدل ریز مقیاس نمایی LARS-WG با استفاده از مدل گردش عمومی جو HadCM3 برای سه سناریو گزارش چهارم هیأت تغییر اقلیم (A1B، A2 و B1) پیش‌بینی و برای دشت مغان در دوره‌های ۲۰۱۰-۱۹۷۰، ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ مورد بررسی قرار گرفت. مدل AquaCrop قبل از استفاده، توسط داده‌های مزرعه‌ای (سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵) واسنجی و تعیین اعتبار شد. سپس طول دوره رشد هیبریدها، مقادیر عملکرد دانه و زیست‌توده در دوره‌های آینده، برای تیمارهای متفاوت آبیاری (I1= آبیاری نرمال، I2= قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی، I3= قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و I4= قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه) و هیبریدهای متفاوت ذرت (C1= SC704، C2= SC703 و C3= SC705) شبیه‌سازی شد. با توجه به نتایج، در دوره آماری ۲۰۳۰-۲۰۱۱ میلادی در مقایسه با دوره ۲۰۱۰-۱۹۷۰ (پایه) میانگین ماهانه دمای به مقدار ۱/۴۱، ۱/۳۵ و ۱/۵۶ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب در سناریوهای A1B، A2 و B1 افزایش، میانگین ماهانه بارش به مقدار ۶، ۱۱ و ۱۵ میلی‌متر به‌ترتیب در سناریوهای A1B، A2 و B1 کاهش خواهد یافت و در دوره آماری ۲۰۶۵-۲۰۴۶ میلادی در مقایسه با دوره پایه میانگین ماهانه دمای به مقدار ۲/۹، ۲/۶۹ و ۲/۳۲ درجه سانتی‌گراد، به‌ترتیب در سناریوهای A1B، A2 و B1 افزایش خواهد یافت. همچنین در طی این دوره، مقدار کاهش بارندگی به مقدار ۱۸، ۱۵ و ۱۴میلی‌متر به‌ترتیب در سناریوهای A1B، A2 و B1 پیش‌بینی شد. نتایج شبیه‌سازی عملکرد دانه و زیست‌توده کل ارقام ذرت تحت تاثیر مدیریت‌های آبیاری با استفاده از مدل AquaCrop، نشان داد که متغیرهای آماری ریشه میانگین مربعات خطای عملکرد دانه و ماده خشک در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵، به‌ترتیب ۴۱۳ و ۸۹۱ کیلوگرم در هکتار بود. مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده عملکرد دانه و ماده خشک، به‌ترتیب ۱۱ و ۱۰ درصد به‌دست آمد. به‌علاوه، استفاده از داده‌های هواشناسی آینده تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم نشان از کاهش طول دوره رشد، عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده در دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ در سناریوهای A1B، A2 و B1 دارد. در بین ارقام مورد مطالعه در این تحقیق مشاهده شد که هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ نسبت به سایر هیبریدهای ذرت دارای کاهش رشد و عملکرد کمتری می‌باشد. بنابراین این رقم می‌تواند برای تغییر اقلیم آینده در دشت مغان مناسب باشد.

واژه‌های کلیدی: آب و هوا، بحران آب، تنش خشکی، مدل AquaCrop

مقدمه

بررسی وضعیت انتشار گازهای گلخانه‌ای نشان می‌دهد که پس از انقلاب صنعتی، به دلیل توسعه روزافزون صنایع و به سبب آن افزایش استفاده از سوخت‌های فسیلی، غلظت آن‌ها به خصوص میزان گاز دی‌اکسیدکربن افزایش یافته که این امر موجب گرم شدن کره زمین شده است (Wilcox and Makowski, 2014). گرم شدن زمین که از اواخر قرن نوزدهم آغاز شده و انتظار می‌رود که در سال‌های آینده نیز ادامه پیدا کند و بر وضعیت دیگر اجزای چرخه اقلیمی اثر گذاشته و پدیده تغییر اقلیم را به همراه داشته است. تغییرات بلندمدت شرایط عمومی آب و هوایی زمین، تغییر اقلیم نامیده می‌شود که در اثر تغییر اقلیم متغیرهای آب و هوایی مانند دما و بارش ثابت نمانده و در مناطق مختلف تغییر می‌کند (Tacarindua *et al.*, 2013). براساس آخرین گزارش مجمع بین دول تغییر اقلیم، میانگین درجه حرارت جهان تا ۵۰ سال آینده ۲/۵-۰/۶ درجه سانتی‌گراد و تا پایان قرن حاضر

۱- دانش‌آموخته دکتری اگرواکولوژی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران
۲ و ۳- به‌ترتیب دانشیار و استاد اگرواکولوژی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران
۴- دانشیار فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه علوم گیاهی و گیاهان دارویی، دانشکده کشاورزی مشکین شهر، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۵- استادیار اکولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه رازی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: abasat.rostami@yahoo.com)
DOI: 10.22067/gsc.v17i1.72189

۶/۴-۱/۱سانتی گراد افزایش می‌یابد و دامنهٔ این افزایش درجه حرارت در مقیاس منطقه‌ای بسیار زیاد خواهد بود (IPCC, 2016). با وجودی‌که تغییر اقلیم در برخی از مناطق جهان به‌ویژه نواحی واقع درعرض‌های شمالی اثرات مثبتی بر تولیدات کشاورزی به همراه خواهد داشت (Raymond *et al*., 2014) ولی اثرات منفی این تغییرات در مناطق گرم و خشک شدید خواهد بود (Babalola and Akinsanola, 2016). به‌طوری‌که در کشورهای در حال توسعه افزایش درجه حرارت و کاهش بارندگی شدیدتر بوده (Rootaei *et al*., 2012) و به‌علاوه فراوانی و شدت وقوع پدیده‌های نادر اقلیمی (خشکسالی، گرما، سرما و سیل) نیز تشدید خواهد شد. تعداد و شدت بیشتر بارندگی‌ها، افزایش دما، خشکسالی و انواع دیگر مخاطرات آب و هوایی مورد انتظار، بر عملکرد و کیفیت محصولات کشاورزی اثر می گذارند (Hatfield *et al*., 2011).

معتبرترین ابزار، جهت بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف، استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های جفت شده گردش عمومی جوی- اقیانوسی می‌باشد (Abkar *et al*., 2013). برای بسط دادن به شرایط هر منطقه خروجی این مدل‌ها بایستی قبل از استفاده در مطالعات ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و مقایسه با داده‌های مشاهداتی ریزمقیاس شوند (Ashraf *et al*., 2014). امروزه استفاده از مدل‌های ریز مقیاس نمایی آماری مانند LARS-WG برای مدل‌سازی رفتار اقلیم در نقاط مختلف جهان برای دهه‌های آینده معمول است و می‌توان نتایج مدل را در زمینه‌های مختلف از جمله کشاورزی به‌کار برد (Hatfield *et al*., 2011). جهت بهره‌برداری از نتایج مدل‌های تغییر اقلیم و بررسی اثرات آنها بر گیاهان زراعی، می‌توان از مدل‌های گیاهی استفاده کرد (Hajarpour *et al*., 2013) بدین صورت که با تولید داده‌های روزانه سال‌های آینده می‌توان خروجی این مدل‌های ریزمقیاس‌کننده را به‌عنوان ورودی مدل‌های گیاهی لحاظ و میزان عملکرد محصولات کشاورزی را تحت تغییرات اقلیمی دهه‌های آینده برآورد کرد.

یکی از مدل‌های جدیدی که برای شبیه‌سازی رشد محصول با استفاده از سری‌های طولانی داده‌های اقلیمی گذشته می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، مدل AquaCrop است (Nasiry *et al*., 2014). مدل AquaCrop یکی از مدل‌های پرکاربرد گیاهان زراعی است که توسط سازمان فائو ارائه شده و با وارد کردن واکنش‌های فیزیولوژیک گیاه می‌تواند محصول قابل دستیابی را بر اساس شرایط هواشناسی، خاک، سیستم آبیاری و مدیریت مزرعه پیش‌بینی کند (Steduto *et al*., 2015). با مقایسه محصول پیش‌بینی شده توسط مدل و اندازه‌گیری شده در مزرعه می‌توان مدل را واسنجی کرده و اعتبار آن را برای یک محصول و شرایط آب و هوایی سنجید همچنین مدل می‌تواند برای استفاده توسط اقتصاددان‌ها، مدیران و کارفرمایان بخش آب کشاورزی با اهداف و کاربردهای متنوع مناسب می‌باشد. علاوه بر این با وجود ساده بودن مدل، توجه خاصی به روندهای اساسی فیزیولوژیکی و زراعی دارد که در تولیدات گیاه و واکنش‌های آب موثر هستند (Steduto *et al*., 2009). با استفاده از این مدل‌ها، اثر سناریوهای مختلف کم‌آبیاری بر تولید محصول تعیین و با توجه به منابع آب بهترین برنامه کم‌آبیاری استنتاج می‌شود. در این راستا (Esmaely *et al*., 2014) با استفاده از میانگین طولانی مدت پارامترهای هواشناسی در منطقه کرمانشاه، عملکرد گیاه سویا با را با استفاده از مدل AquaCrop بررسی نمودند سپس با استفاده از مدل LARS-WG تحت سه سناریو پارامترهای هواشناسی پیش‌بینی و عملکرد محصول سویا (*Glycine max* L.) در حالت پتانسیل در دوره زمانی ۲۰۳۰-۲۰۱۰ توسط مدل AquaCrop را برآورد نمودند. بر اساس نتایج مدل LARS-WG، هر سه سناریو افزایش دمای هوا به میزان یک تا دو درجه را پیش‌بینی نموده و با توجه به نتایج به‌دست آمده عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک سویا در شرایط آینده در منطقه کرمانشاه کاهش خواهد یافت. (Roustaie *et al*., 2011) در منطقه پاکدشت تاثیر تغییر اقلیم بر زیست‌توده ذرت (*Zea mays* L.) را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG تغییرات دما و بارش را با استفاده از دوره پایه برای دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ پیش‌بینی و به‌عنوان ورودی برای مدل AquaCrop تلقی کردند و نتایج شبیه‌سازی رشد گیاه ذرت در دوره ۳۰ ساله ۲۰۱۰ - ۲۰۳۹، نشان از سیر نزولی زیست‌توده، در تیمارهای آبیاری کامل و کم آبیاری دارد، به‌طوری‌که در سطح ریسک ۵۰ درصد و تیمارهای آبیاری کامل و کم‌آبیاری، به‌ترتیب ۱/۲۱ و ۱/۴۲ تن بر هکتار کاهش در زیست‌توده پیش‌بینی شده است. همچنین نتایج آنالیز ریسک نشان داد که تفاوت میان مقادیر زیست‌توده ذرت در سطوح ۲۵ و ۷۵ درصد در سال ۲۰۳۹، ۰/۷ تن بر هکتار در تیمار آبیاری کامل و ۰/۵ تن بر هکتار در کم آبیاری خواهد بود. یانو و همکاران، ۲۰۰۷ با بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر رشد و نیاز آبی گیاهان گندم (*Triticum aestivum* L.) و ذرت در ساحل شرقی دریای مدیترانه در ترکیه نتیجه گرفتند که بالا رفتن دما باعث افزایش سرعت رشد فیزیولوژیکی هر دو گیاه می‌شود و این خود باعث زودرس شدن این محصولات و در نتیجه کاهش دوره رشد می‌شود.

در این پژوهش تاثیر پدیده تغییر اقلیم بر طول دوره رشد و عملکرد سه هیبرید ذرت تحت شرایط کم آبیاری در دشت مغان در دوره‌های ۲۰۱۰-۱۹۷۰، ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ در تیمارهای مختلف آبیاری با استفاده از نسخه جدید مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG و مدل پیش‌بینی عملکرد AquaCrop مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایشات مزرعه‌ای و موقعیت منطقه مورد مطالعه

آزمایش مزرعه‌ای بر روی گیاه ذرت دانه‌ای، در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ به منظور بررسی تاثیر کم آبیاری بر عملکرد دانه و زیست‌توده محصول در مزرعه شخصی واقع در بخش تازه‌آباد از توابع شهرستان پارس‌آباد از دشت مغان (یکی از قطب‌های مهم کشاورزی کشور واقع در شمال استان اردبیل) انجام شد. محل اجرای آزمایش بین مدارهای ۳۹ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است. از نظر پهنه‌بندی اقلیمی منطقه مورد بررسی دارای اقلیم نیمه‌خشک است و میانگین بارش سالانه در این منطقه ۲۷۱ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه آن ۱۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (Vatankhah, 2009). آزمایش در دو سال زراعی به صورت طرح کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. کرت‌های اصلی شامل چهار سطح مختلف آبیاری (I1= آبیاری نرمال، I2= قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی (قطع آبیاری از مرحله ۱۲-۱۰ برگی تا ظهور تاسل)، I3= قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و I4= قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه) و ژنوتیپ‌های مختلف ذرت (C1= SC704، C2= SC705 و C3= SC703) بودند. هر کرت آزمایشی شامل چهار ردیف به طول پنج متر با تراکم بوته ۱۱۱۰۰۰ بوته در هکتار بودند. بعد از بلوک‌بندی برای جلوگیری از نشت آب بین کرت‌های اصلی دو متر فاصله گذاشته شد. در این آزمایش بذرهای ژنوتیپ‌های مختلف ذرت به‌صورت دستی در فواصل مذکور در چهارم تیر ماه به‌عنوان کشت دوم بعد از گندم کشت گردیدند. پیش از اجرای آزمایش، نمونه‌ای مرکب از خاک مزرعه تهیه و برای تعیین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی به آزمایشگاه ارسال شد و بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۱) و با توجه به نیاز گیاه ذرت، ۴۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کشت و مابقی به صورت سرک در دو مرحله استفاده شد)، ۲۰۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل نیز قبل از کاشت به خاک اضافه شد. همچنین برای تأمین نیاز کودی پتاسیم؛ نانوکود پتاسیم (K_2O ۲۷درصد، به‌میزان ۱۰ کیلوگرم در هکتار) به‌صورت خاک مصرف مورد استفاده قرار گرفت (در هر دوسال زراعی برنامه کودی رعایت شد).

جدول ۱- نتایج آزمون خاک

Table 1- Soil test results

سال Year	عمق Depth (cm)	هدایت الکتریسیتی EC (ds.m-1)	مواد آلی Organic Matter (%)	pH	نیتروژن N (%)	فسفر P (mg. kg-1)	پتاسیم K (mg. kg-1)	بافت خاک Soil texture
1394	0-60	0.93	0.88	7.2	0.07	4.2	385	رسی
1395	0-60	0.94	0.87	7.2	0.066	4.3	388	رسی

عملیات وجین علف‌های هرز از مرحله آغاز رشدی تا ظهور بلال‌ها به‌صورت دستی انجام گردید همچنین جهت مدیریت آفات که عمدتاً ساقه‌خوار اروپایی ذرت بودند، قبل از پیدایش گل تاجی از سموم آوانت و هگزافلومرون بر علیه لاروهای سن اول (به‌صورت مه‌پاشی و به میزان دو لیتر در هکتار، جزء سموم ضد تغذیه‌ای) استفاده گردید. آبیاری به روش جوی و پشته‌ای اجرا و تمامی تیمارها تا ظهور ۴ برگ به‌طور یکسان آبیاری شدند و بعد از این مرحله تیمارهای آبیاری (بر اساس مراحل رشدی) اعمال شدند.

شبیه‌سازی اقلیم آینده توسط مدل LARS-WG

جهت ریزمقیاس نمایی آماری داده‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3 از مدل LARS-WG استفاده شد. برای تولید داده‌های روزانه دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و ساعت آفتابی اقلیم آینده و پایه از داده‌های ایستگاه هواشناسی مرکز تحقیقات مغان (واقع در شمال غرب کشور و شمال استان اردبیل) استفاده شد. جدول ۲ ویژگی‌های ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۲- مشخصات جغرافیایی ایستگاه مورد مطالعه

Table 2- Geographic characteristics of station

نام ایستگاه Station name	کد ایستگاه سنوپتیک Synoptic station code	ارتفاع (متر) Height (m)	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude
هواشناسی کشاورزی اولتان مغان	40700	72.6	39.36	47.47

به‌طور کلی تولید داده توسط مدل LARS-WG در سه مرحله صورت می‌گیرد. که عبارتند از: واسنجی داده‌ها، ارزیابی داده‌ها و تولید یا شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی برای دوره آینده. نیاز اساسی مدل در مرحله واسنجی، فایلی است که مشخص‌کننده رفتار اقلیم در دوره گذشته می‌باشد. بر این اساس برای اجرای مدل، ابتدا با در نظر گرفتن دوره ۳۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۷۰) داده‌های مورد نیاز مدل، شامل مقادیر روزانه دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و ساعت آفتابی ایستگاه تحقیقات کشاورزی شهرستان پارس‌آباد مغان وابسته به مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مغان، در این دوره آماری پردازش و مرتب‌سازی شد و فایل‌های ورودی مدل برای دوره پایه تهیه شد بدین ترتیب مرحله واسنجی (تعریف داده‌های ورودی) به پایان رسید و در مرحله بعد اقدام به ارزیابی داده‌های تولید شده توسط مدل و داده‌های واقعی مشاهده شده (موجود در دوره پایه) شد و در نهایت در مرحله سوم شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی برای دو دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ انجام شد. در این مرحله مدل با استفاده از رفتار اقلیم در دوره پایه و ریز مقیاس نمایی آماری داده‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3 با استفاده از سه سناریو گزارش چهارم هیأت تغییر اقلیم (A2 ،A1B و B1) اقدام به شبیه‌سازی نمود. جدول ۳ خلاصه‌ای از مشخصات سناریوهای انتشار یادشده را ارائه می‌دهد. بدین ترتیب مدل LARS-WG اجرا شده و مقادیر روزانه داده‌های اقلیمی بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی برای دو دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ شبیه‌سازی شد. سپس میانگین داده‌های روزانه خروجی مدل LARS-WG محاسبه شد. شایان ذکر است که میانگین ماهانه داده‌های اقلیمی دوره مشاهداتی (۲۰۱۰-۱۹۷۰) نیز جهت مقایسه و درک بهتر تغییرات اقلیمی آینده، نشان داده شده است.

جدول ۳- مشخصات سناریوهای A2 ،A1B و B1

Table 3- Characteristics of scenarios A1B, A2 and B

سناریو Scenario		فرضیه‌های اصلی در سناریو The main hypothesize in the scenario	غلظت Co_2 (ppm) 2011-30	غلظت Co_2 (ppm) 2046-65	غلظت Co_2 (ppm) 2081-100
جهان همراه با توسعه پایدار The world with sustainable development	B1	تغییر در ساختارهای اقتصادی، همراه با بهبود و افزایش سطح توجه به محیطزیست Changes in economic structures, along with improved environmental awareness	410	492	538
جهان ثروتمند The rich world	A1B	این سناریو با رشد اقتصادی سریع (۲ ٪ رشد) توصیف می‌شود This scenario is characterized by rapid economic growth (2 % growth)	418	541	674
جهان جدا شده Isolated world	A2	مشخصات فرهنگی مناطق مختلف را تفکیک می‌کند Cultural characteristics of different regions are distinguished	414	545	754

مدل شبیه‌سازی عملکرد گیاه AquaCrop

مدل AquaCrop یکی از کاراترین و جدیدترین مدل‌های گیاهی است که توسط سازمان خوار و بار جهانی (FAO) ارایه شده است. این مدل را می‌توان به‌عنوان ابزاری جهت ارزیابی تنش آبی و میزان محصول در منطقه، ارزیابی محصول کشت دیم در طولانی مدت، برنامه‌ریزی کم آبیاری و آبیاری تکمیلی به‌کار برد (Heydarinia *et al*., 2012). این مدل بیلان آب را به‌صورت روزانه محاسبه کرده و (Steduto *et al*., 2005) گزارش کردند که مدل از معادله پیشین (Doorenbos and Kassam, 1979) با تفکیک نمودن تبخیر و تعرق به تبخیر از سطح خاک و تعرق پوشش گیاهی توسعه یافته است. برای محاسبه تولید روزانه زیست‌توده از پارامتر بهره‌وری آب نرمال شده، استفاده می‌شود که پارامتری ثابت برای آب و هوا و گیاه معین، در نظر گرفته می‌شود تا مدل قادر به شبیه‌سازی در مکان‌ها، فصول مختلف و همچنین برای سناریوهای تغییراقلیم باشد.

داده‌های ورودی مدل

داده‌های اقلیمی: داده‌های اقلیمی شامل چهار بخش میزان تبخیر تعرق گیاه مرجع روزانه، دمای حداقل و حداکثر روزانه، مقادیر بارندگی روزانه و میانگین سالیانه‌ی غلظت CO_2 است. از اطلاعات آماری ایستگاه هواشناسی اولتان مغان برای محاسبه‌ی تبخیر و تعرق مرجع ETo به روش پنمن مانتیث (Allen *et al*., 1998) استفاده شد. برای محاسبه‌ی غلظت CO_2 موجود در اتمسفر از مقادیر محاسبه شده در مدل استفاده گردید. همچنین مقادیر بارندگی و دمای حداقل و حداکثر در فصل رشد به صورت روزانه به مدل داده شد.

داده‌های گیاهی: به طور کلی داده‌های گیاهی دارای دو نوع ورودی می‌باشند که برخی از آنها ثابت و برخی دیگر متغیر و غیرثابت

هستند. برای داده‌های ثابت از مقادیر پیش‌فرض مدل برای گیاه ذرت که با تغییر مکان یا گذشت زمان تغییر نمی‌کنند استفاده شد و یا این که تغییرات بسیار کم و قابل چشم‌پوشی فرض شد و مقادیر داده‌های متغیر شامل پوشش گیاهی هر نهال هنگام جوانه‌زنی ۹۰ درصد، بیشینه‌ی رشد کانوپی، عمق موثر ریشه، بهره‌وری آب، حد پایین آستانه‌ی شوری، حد بالای آستانه‌ی شوری، شاخص برداشت مرجع، مدت زمان کاشت تا جوانه‌زنی، مدت زمان کاشت تا بیشینه‌ی، رشد کانوپی، مدت زمان کاشت تا برداشت محصول، مدت زمان کاشت تا دوره‌ی پیری، مدت زمان کاشت تا بلوغ به مدل وارد شد.

داده‌های خصوصیات خاک: داده‌های خصوصیات خاک برای ورودی مدل نظیر بافت خاک زراعی و خصوصیات هیدرولیکی خاک نظیر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، رطوبت‌های اشباع، ظرفیت مزرعه و پژمردگی دائم مورد نیاز است. مقادیر این ورودی‌ها با توجه به بافت خاک مزرعه‌ی آزمایشی به مدل داده شد. هدایت هیدرولیکی خاک برابر ۱۰۰ میلی‌متر بر ساعت، رطوبت اولیه‌ی خاک در حد پژمردگی دائم و شوری پروفیل خاک در سه لایه برابر با دو دسی‌زیمنس بر متر در نظر گرفته شد.

داده‌های مدیریت مزرعه: داده‌های مدیریت مزرعه به دو بخش اصلی تقسیم شده‌اند: ۱- مدیریت مزرعه و حاصلخیزی آن، ۲- مدیریت آبیاری.

حاصلخیزی مزرعه بدون محدودیت و به‌طور کامل در نظر گرفته شد. داده‌های مربوط به مدیریت آبیاری شامل روش آبیاری و مقادیر و کیفیت آب آبیاری در طول فصل رشد می‌باشد. از روش آبیاری جوی و پشته‌ای در تیمارهای مختلف استفاده شد. به دلیل پیچیده و دشوار بودن تعیین پارامترهای گیاهی و دوره‌های زمانی رشد گیاه، از اطلاعات تیمار شاهد برای واسنجی مدل در تخمین عملکرد محصول استفاده شد.

ارزیابی مدل: جهت بررسی نتایج حاصل از مدل و نتایج مشاهده‌ای در سطح مزرعه و صحت‌یابی نتایج و ارزیابی قابل اعتماد بودن مدل، از شاخص‌های ارزیابی مزرعه‌ای (RMSE) شاخص توافق (d) و ضریب راندمان (E) طبق معادله‌های زیر استفاده شد (Jacovides and Kontoyiannis, 1995).

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Si - Mi)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|Si - \overline{M}| + |Mi - \overline{M}|)^2}$$

$$RMSE = \sqrt{1/n\sum_{i=1}^{n}(Si - Mi)^2} \times 100/\overline{M}$$

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Mi - Si)^2}{\sum_{i=1}^{n}\ (Mi - \overline{M})^2}$$

که در آنها:

Si و Mi مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده، n تعداد مشاهدات و $\overline{M}$ میانگین مقدار اندازه‌گیری شده است. هر دو شاخص برای نقاط داده‌های جمع‌آوری شده در طی فصل برای هر تیمار است.

داده‌های شبیه‌سازی شده دوره آینده توسط مدل تولید داده LARS-WG به‌همراه مقادیر محاسباتی تبخیر و تعرق به‌عنوان ورودی مدل AquaCrop به‌کار گرفته شد. مدل با استفاده از داده‌های سال ۱۳۹۴ واسنجی و با داده‌های سال ۱۳۹۵ تحت تیمارهای مختلف آبیاری (I1= آبیاری نرمال، I2= قطع آبیاری در مرحله رشد رویشی، I3= قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و I4= قطع آبیاری در مرحله پر شدن دانه) و ژنوتیپ‌های مختلف ذرت دانه‌ای (C1= SC704، C2= SC705 و C3= SC703) صحت‌سنجی شد.

نتایج و بحث

ریز مقیاس نمایی داده‌های شبیه‌سازی شده دوره‌های آینده

در این پژوهش، با استفاده از محاسبه ضریب تعیین و شاخص‌های خطاسنجی میانگین مجذور مربعات خطا RMSE و میانگین خطای مطلق MAE، اقدام به ارزیابی داده‌های تولید شده با استفاده از مدل LARS-WG و داده‌های مشاهده شده موجود در دوره پایه شد که نتایج آن در جدول ۴ آورده شده است.

نتایج ارزیابی آماری داده‌های شبیه‌سازی شده ویژگی‌های هواشناسی توسط مدل و داده‌های واقعی دوره پایه در جدول ۵ ارایه شده است. شاخص آماری ریشه میانگین مربعات خطا کوچک به‌دست آمدند. مقادیر کوچک‌تر این شاخص بیانگر وجود اختلاف کم‌تر بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده عوامل هواشناسی تولید شده توسط مدل LARS-WG می‌باشد. به منظور ارزیابی توانایی مدل در شبیه‌سازی اقلیم منطقه، آزمون‌های آماری توسط مدل برای ایستگاه مورد مطالعه اجرا گردید. آزمون t جهت تست همانندی برای میانگین بارش ماهانه و میانگین ماهانه دمای بیشینه و کمینه روزانه و آزمون F جهت ارزیابی واریانس ماهانه بارش اجرا شد. جدول ۶ نتایج آزمون‌های کلموگروف-سمیرنوف، t و F را برای ایستگاه مورد مطالعه نشان می‌دهد. در این جدول، تعداد آزمون‌های خارج از سطح معنی‌داری (۵ درصد) نسبت به کل آزمون در هر سری نشان داده شد. به عبارتی اگر مقدار P-value کمتر از سطح معنی‌داری (پنج درصد) باشد فرض صفر مبنی بر این‌که داده شبیه‌سازی شده همانند داده واقعی می‌باشد، رد می‌شود.

نتایج به‌دست آمده از آزمون آماری t نشان داد که دما هوا در ۱۱ ماه، در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل وجود ندارد.

هم‌چنین، نتایج به‌دست آمده از آزمون آماری F نشان داد که در هیچ ماهی از سال، در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل وجود ندارد.

جدول ٤- شاخص‌های ارزیابی مدل LARS-WG

Table 4- LARS-WG model evaluation indicators

پارامتر Parameter	MAE	RMSE	R^2
دمای کمینه Minimum temperature	0.145	0.1887	0.9995
دمای بیشینه Maximum temperature	0.2107	0.2511	0.9995
تابش Radiation	0.1634	0.2355	0.9972
بارش Precipitation	4.0557	5.5066	0.8899

نتایج نشان داد کـه توانـایی مـدل LARS-WG در مـدل‌سـازی ویژگی‌های هواشناسی مناسب است و می‌تـوان از آن در شـبیه‌سـازی داده‌ها برای دوره آینده استفاده نمـود. توانـایی بـالای مـدل -LARS WG در شبیه‌سازی ویژگی‌های هواشناسـی در تحقیقـات بسـیاری از محققین نیز به تأیید رسیده است (Sayari *et al*., 2011; Ansari *et al*., 2015).

جدول ٥- ریشه میانگین مربعات خطای مدل‌های گردش عمومی در شبیه‌سازی دما و بارش در دوره پایه

Table 5- Root mean squares error of general circulation models in temperature and precipitation simulation in baseline period

مدل‌های گردش عمومی General circulation models	GFCM2.1	HadCM3	INCM3	IPCM4	MPEH5	NCCCSM
دما Temperature	7.9	2.4	3.1	2.7	0.59	3.3
بارش Precipitation	1.15	0.76	0.77	0.79	0.28	0.6
میانگین خطا Mean error	4.5	1.59	1.94	1.78	0.43	1.95

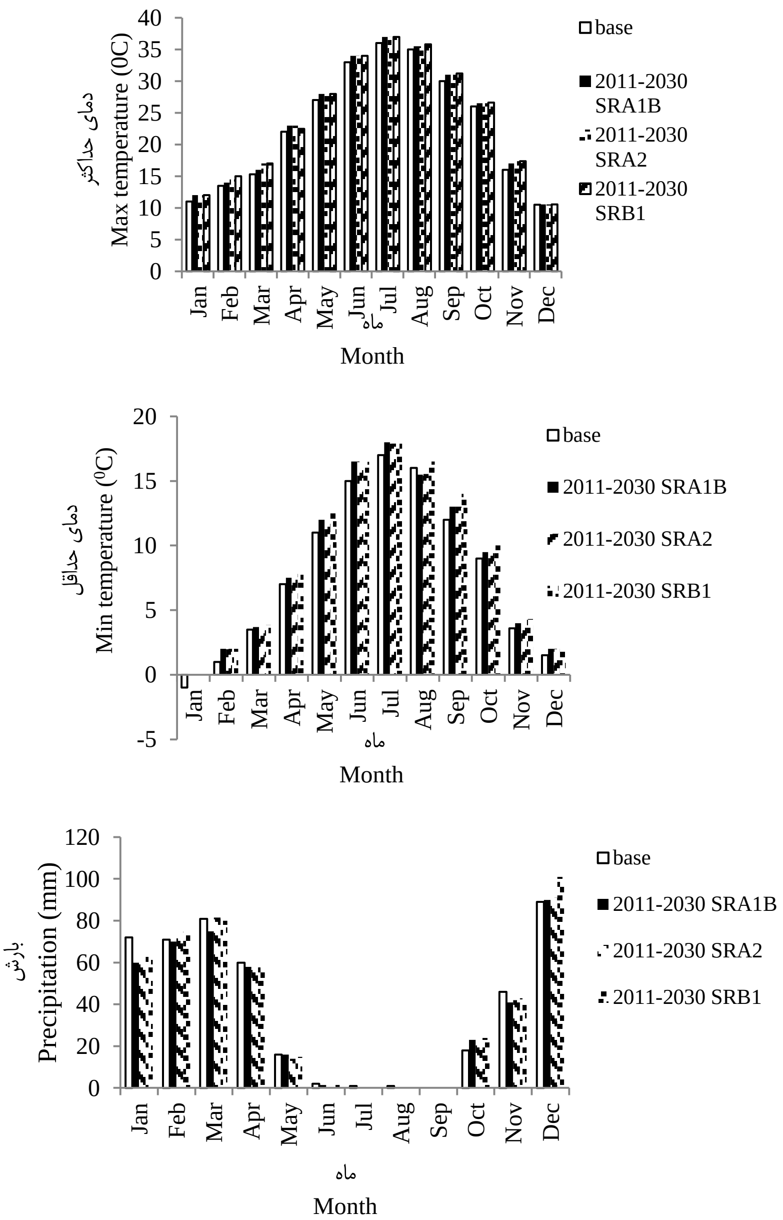
جدول ٦- نتایج آزمون‌های t و F در سطح احتمال ٥ درصد

Table 6- Results of t and F tests at 5% probability level

ویژگی اقلیمی Climatic feature		میانگین بارش ماهانه Average Monthly Precipitation	واریانس بارش ماهانه Monthly Precipitation variances	میانگین ماهانه دمای حداقل Monthly average minimum temperature	میانگین ماهانه دمای حداکثر Average monthly maximum temperature
(Statistical test) آزمون آماری		t-test	F-test	t-test	t-test
ماه شمسی Solar month	ماه میلادی Christian month				
بهمن	ژانویه (January)	0.99	0.17	0.52	0.29
اسفند	فوریه (February)	0.99	0.34	0.9	0.29
فروردین	مارس (March)	0.55	0.21	0.18	0.91
اردیبهشت	آوریل (April)	0.37	0.52	0.34	0.77
خرداد	می (May)	0.33	0.71	0.038	0.43
تیر	ژوئن (June)	0.34	0.74	0.23	0.84
مرداد	جولای (July)	0.15	0.22	0.25	0.83
شهریور	آگوست (August)	0.34	0.09	0.6	0.13
مهر	سپتامبر (September)	0.09	0.64	0.29	0.3
آبان	اکتبر (October)	0.49	0.56	0.69	0.79
آذر	نوامبر (November)	0.61	0.55	0.48	0.14
دی	دسامبر (December)	0.42	0.83	0.39	0.44

مقایسه سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای (A2 ،A1B و B1)

با توجه به جدول ۷ در ایستگاه هواشناسی در دوره آماری ۲۰۳۰-۲۰۱۱ میلادی در مقایسه با دوره ۲۰۱۰-۱۹۷۰ میانگین ماهانه دمای به مقدار ۱/۴۱، ۱/۳۵ و ۱/۵۶ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب در سناریوهای A2 ،A1B و B1 افزایش، میانگین ماهانه بارش به مقدار ۶، ۱۱ و ۱۵ میلی‌متر به‌ترتیب در سناریوهای A2 ،A1B و B1 کاهش خواهد یافت. مقایسه میانگین ماهانه مقادیر شبیه‌سازی شده (۲۰۳۰-۲۰۱۱) دمای حداکثر و حداقل، بارش و تشعشع در سناریوهای A2 ،A1B و B1 با میانگین ماهانه مقادیر در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۷۰) در شکل ۱ نشان داده شده است که در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ در تمام ماه‌ها نسبت به دوره پایه افزایش دما مشاهده شد.



شکل ۱- مقایسه میانگین ماهانه مقادیر شبیه‌سازی شده دمای حداکثر و حداقل و بارش (۲۰۳۰-۲۰۱۱) نسبت به دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۷۰)

Figure 1- Comparison of the monthly average of simulated maximum and minimum temperature and precipitation (2011-2030) compared to the base period (1979-2010)

با توجه به جدول ۷ در دوره آماری ۲۰۶۵-۲۰۴۶ میلادی در مقایسه با دوره ۲۰۱۰-۱۹۷۰ میانگین ماهانه دمای به مقدار ۲/۹، ۲/۶۹ و ۲/۳۲ درجه سانتی‌گراد، به‌ترتیب در سناریوهای A1B، A2 و B1 افزایش خواهد یافت. هم‌چنین در طی این دوره، مقدار کاهش بارندگی به مقدار ۱۸، ۱۵ و ۱۴میلی‌متر به‌ترتیب در سناریوهای A1B، A2 و B1 پیش‌بینی شد.

در شکل ۲ مقایسه میانگین ماهانه مقادیر شبیه‌سازی شده (۲۰۶۵-۲۰۴۶) دمای حداکثر و حداقل و بارش در سناریوهای A1B، A2 و B1 با میانگین ماهانه مقادیر در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۷۰) نشان داده شده است. نتایج نشان داد در دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ در تمام ماه‌ها دما نسبت به دوره پایه دما افزایش خواهد یافت. به‌طور کلی با توجه به نتایج به‌دست آمده، دما در دوره‌ی (۲۰۶۵-۲۰۴۶) نسبت به دوره‌ی (۲۰۳۰-۲۰۱۱) بیشتر افزایش داشت که نشان‌دهنده افزایش دما در اثر تغییر اقلیم می‌باشد. در دوره‌ی (۲۰۳۰-۲۰۱۱) سناریوی B1 نسبت به دو سناریوی دیگر افزایش دمای بیشتری را نشان داد. در دوره‌ی (۲۰۶۵-۲۰۴۶) سناریوی A1B نسبت به دو سناریوی دیگر افزایش دمای بیشتری را نشان داد. بارش در دوره (۲۰۳۰-۲۰۱۱) در هر سه سناریو کاهش نشان داد، بنابراین بارش در اثر تغییر اقلیم در حال کاهش است که سناریوی B1 نسبت به دو سناریوی دیگر دارای کاهش بارش بیشتری است. افزایش دما و کاهش بارش در اثر تغییر اقلیم در آینده در تحقیقات سایر محققین نیز گزارش شده است (Mesbahboani *et al*., 2005; Zarghami *et al*., 2011).

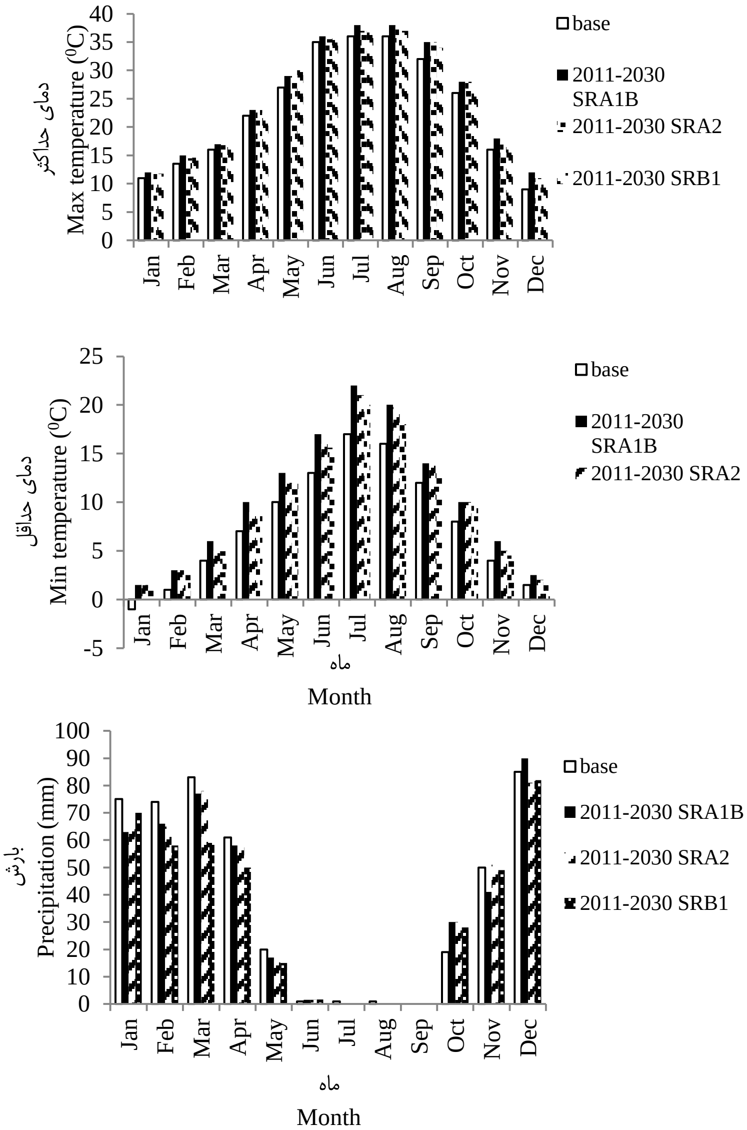
نتایج بررسی اثرات تغییر اقلیم بر ویژگی‌های گیاهی

اثر تغییر اقلیم بر طول دوره رشد ذرت

در جدول ۸ طول دوره رشد ذرت در دوره پایه ۲۰۱۰-۱۹۸۰ و دوره آینده ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ در ارقام مختلف ذرت ارائه شده است. با توجه به نتایج شبیه‌سازی در ارقام، طول دوره رشد ذرت تحت اقلیم آینده کاهش پیدا می‌کند. متوسط دوره رشد در دوره پایه ۱۲۲ روز، در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ در هر سه رقم ذرت ۱۱۹ روز و در دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ در هر سه سناریو ۱۱۶ روز به‌دست آمد. کاهش طول دوره رشد ارقام ذرت در دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ بیشتر از دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ بود. نتایج تحقیقات مختلف نیز نشان داد که در شرایط تغییر اقلیم دوره رشد گیاهان کوتاه‌تر خواهد شد که به نوع گیاهی و شدت تغییر اقلیم بستگی دارد (Ma *et al*., 2017; Ding *et al*., 2016). نتایج تحقیق ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر گندم در دوره آماری ۲۱۰۰-۲۰۷۱ میلادی در شمال و مرکز تونس نشان داد که طول دوره رشد گندم کاهش می‌یابد (Lhomme *et al*., 2009). در تحقیقی دیگر نیز نشان داده شد که تحت تغییر اقلیم در آینده، طول دوره کاشت تا گلدهی و هم‌چنین طول دوره رسیدگی ذرت تحت تأثیر تغییر اقلیم در سناریوهای مورد استفاده کاهش خواهد یافت (Moradi *et al*., 2013). در پژوهشی اثر تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد نخود (*Cicer arietinum* L.) نشان داده شد که دوره رشد گیاه در اثر افزایش دما ۱۰ تا ۱۳ درصد کاهش می‌یابد (Soltani and Gholipoor, 2006). در تحقیقی دیگر تأثیر تغییر اقلیم بر چغندرقند (*Beta vulgaris*) در ایران مشاهده شد که افزایش میانگین دما در طی کل فصل رشد چغندرقند باعث کاهشی معادل ۱۵ درصد در طول دوره کاشت تا رسیدگی گیاه می‌شود (Koocheki and Nassiri Mahallati, 2016).

اثر تغییر اقلیم بر عملکرد و ماده خشک گیاه ذرت

عملکرد دانه و ماده خشک شبیه‌سازی شده در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۰) و دوره آینده در تیمارهای مختلف به‌ترتیب در جداول ۹ و ۱۰ ارائه شده است. متوسط عملکرد در دوره پایه ۵۴۹۷ کیلوگرم بر هکتار، در دوره (۲۰۳۰-۲۰۱۱) در سناریوهای A1B، A2 و B1 به‌ترتیب ۵۱۴۶، ۴۶۴۰ و ۵۰۵۴ کیلوگرم بر هکتار و در دوره (۲۰۶۵-۲۰۴۶) در سناریوهای A1B، A2 و B1 به‌ترتیب ۴۸۳۷، ۴۷۵۵ و ۴۸۵۸ کیلوگرم بر هکتار به‌دست آمد. متوسط ماده خشک در دوره پایه ۱۳۰۴۸ کیلوگرم بر هکتار، در دوره (۲۰۳۰-۲۰۱۱) در سناریوهای A1B، A2 و B1 به‌ترتیب ۱۰۷۱۲، ۱۰۱۷۱ و ۱۰۵۱۴ کیلوگرم بر هکتار و در دوره (۲۰۶۵-۲۰۴۶) در سناریوهای A1B، A2 و B1 به‌ترتیب ۱۰۵۹۰، ۱۰۶۱۲ و ۱۰۶۷۳ کیلوگرم بر هکتار به‌دست آمد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که تغییر اقلیم موجب کاهش عملکرد و ماده خشک ارقام ذرت در منطقه دشت مغان خواهد شد.



شکل ۲- مقایسه میانگین ماهانه مقادیر شبیه‌سازی شده دمای حداکثر و حداقل و بارش (۲۰۶۵-۲۰٤٦) نسبت به دوره پایه

Figure 2- Comparison of the average monthly simulated maximum and minimum temperature and rainfall (2046-2065) compared to the base period

کاهش عملکرد در دوره (۲۰۳۰-۲۰۱۱) در سناریوهای A2 و B1 به‌ترتیب ۱۶ و ۹ درصد و در دوره (۲۰۶۵-۲۰۴۶) در سناریوهای A1B، A2 و B1 به‌ترتیب ۲۲، ۱۲ و ۱۸ درصد است. کاهش ماده خشک در دوره (۲۰۳۰-۲۰۱۱) در سناریوهای A2 و B1 به‌ترتیب ۴ و ۷ درصد و در دوره (۲۰۶۵-۲۰۴۶) در سناریوهای A1B، A2 و B1 به‌ترتیب ۱۳، ۱۴ و ۱۲ درصد است. به‌طور کلی نتایج نشان داد که سناریوی B1 در مدل گردش عمومی HadCM3 نسب به دیگر سناریوها دارای کمترین کاهش عملکرد در مقایسه با شرایط کنونی بود (جدول ۹ و ۱۰). در بین ارقام مورد مطالعه در این تحقیق مشاهده می‌شود که رقم ۷۰۴ نسبت به سایر ارقام ذرت دارای کاهش رشد و عملکرد کمتری نسبت به رقم‌های دیگر می‌باشد و می‌توان این رقم را برای تغییر اقلیم آینده در منطقه مغان توصیه نمود.

افزایش دما و کاهش بارندگی سبب خواهد شد گیاه در مدت زمان کمتری مراحل رشد فنولوژیک خود را پشت سر بگذارد و همین امر موجب کاهش محصول و عملکرد آن، در نتیجه به‌هم خوردن توازن مراحل رشد فنولوژیک خواهد شد و در نهایت کاهش عملکرد و بیوماس کل ارقام ذرت در اثر تغییر اقلیم در آینده در منطقه مغان رخ خواهد داد.

Moradi *et al.* (2013) با بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد ذرت در منطقه مشهد به نتایج مشابهی دست یافتند و کاهش عملکرد ذرت تحت اقلیم آینده مشهد را ناشی از کاهش طول دوره رشد گزارش کردند.

جدول ۸- طول دوره رشد ارقام ذرت در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۰) و دوره‌های آینده (۲۰۳۰-۲۰۱۱) و (۲۰۶۵-۲۰٤٦)

Table 8- Growth period of corn cultivars during the base period (1980-89) and future periods (2011-2030) and (2046-2065)

واریته Variety	طول دوره رشد ۲۰۱۰-۱۹۸۰ Growth period (day) 1980-2010	طول دوره رشد ۲۰۳۰-۲۰۱۱ Growth period (day) 1980-2010			طول دوره رشد ۲۰۶۵-۲۰٤٦ Growth period (day) 2046-2065		
		SRA1B	SRA2	SRB1	SRA1B	SRA2	SRB1
SC705	120	119	119	118	115	115	116
SC704	120	117	177	116	114	114	114
SC703	125	122	122	120	118	118	119
متوسط (Average)	122	119	119	118	116	116	116

SR: سناریو

جدول ۹- عملکرد دانه ارقام ذرت در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۰) و دوره‌های آینده (۲۰۳۰-۲۰۱۱) و (۲۰۶۵-۲۰٤٦)

Table 9- Grain yield of maize cultivars during the base period (1980-1989) and future periods (2030-2011) and (2046-2065)

واریته Variety	متوسط عملکرد ۲۰۱۰-۱۹۸۰ Average yield ($kg.ha^{-1}$) 1980-2010	متوسط عملکرد ۲۰۳۰-۲۰۱۱ Average yield ($kg.ha^{-1}$) 2011-2030			متوسط عملکرد ۲۰۶۵-۲۰٤٦ Average yield ($kg.ha^{-1}$) 2046-2065		
		SRA1B	SRA2	SRB1	SRA1B	SRA2	SRB1
SC705	5515	5098	4850	5008	5035	4770	5050
SC704	5657	5161	5132	5069	5354	5364	5395
SC703	5321	5180	3939	5085	4121	4131	4130
متوسط (Average)	5497	5146	4640	5054	4837	4755	4858

SR: سناریو

جدول ۱۰- بیوماس کل ارقام ذرت در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۰) و دوره‌های آینده (۲۰۳۰-۲۰۱۱) و (۲۰۶۵-۲۰٤٦)

Table 10- Biomass of maize cultivars during the base period (1980-1989) and future periods (2030-2011) and (2046-2065)

واریته Variety	متوسط بیوماس کل ۲۰۱۰-۱۹۸۰ Average yield ($kg.ha^{-1}$) 1980-2010	متوسط بیوماس کل ۲۰۳۰-۲۰۱۱ Average yield ($kg.ha^{-1}$) 2011-2030			متوسط بیوماس کل ۲۰۶۵-۲۰٤٦ Average yield ($kg.ha^{-1}$) 2046-2065		
		SRA1B	SRA2	SRB1	SRA1B	SRA2	SRB1
SC705	12052	10600	10182	10406	10607	10682	10691
SC704	14038	10793	10683	10591	11115	11138	11205
SC703	13055	10742	9648	10545	10047	10071	10124
متوسط (Average)	13048	10712	10171	10514	10590	10612	10673

SR: سناریو

Richard *et al.* (2015) گزارش کردند که افزایش دما بـه‌طـور غیر مستقیم و از طریق تاثیر بر طول مراحل فنولوژیکی و نیز مراحـل حساس رشد ذرت مثل تولید تاسل و ابریشم منجر به کاهش عملکـرد ذرت در این شرایط می‌گردد. Daccache *et al.* (2011) بـا بررسـی

تأثیر تغییر اقلیم بر رشد و نیاز آبی گیاهان گندم و ذرت نتیجه گرفتند که بالا رفتن دما باعث افزایش سرعت رشد فیزیولوژیکی هر دو گیاه می‌شود و این خود باعث زودرس شدن این محصولات و در نتیجه کاهش دوره رشد و عملکرد دانه و زیست‌توده می‌شود. (Soleymani Nanadegani *et al*., 2011) با بررسی رخداد پدیده تغییر اقلیم و تأثیر آن بر زمان کاشت، طول دوره رشد و نیاز آبی گندم زمستانه در منطقه بهشهر به این نتیجه رسیدند که تحت شرایط تغییر اقلیم در آینده، دوره زمانی مناسب برای کاشت گندم بین ۱ تا ۳۱ روز افزایش و طول دوره رشد گیاه بین ۲ تا ۲۹ روز کوتاه‌تر خواهد شد که این امر موجب تقلیل عملکرد دانه و زیست‌توده گیاه خواهد شد. (Li *et al*., 2011) با شبیه‌سازی عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه ذرت برای یک دوره سه ساله توسط مدل AquaCrop نتیجه گرفتند که مدل به خوبی تغییرات عملکرد ذرت را در اثر تغییرات بارندگی و درجه حرارت شبیه‌سازی می‌کند. داده‌های شبیه‌سازی شده نشان داد که عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه ذرت با افزایش درجه حرارت از حد مطلوب و کاهش بارندگی به‌تدریج کاهش یافت. آن‌ها نتیجه گرفتند که مدل مذکور برای پیش‌بینی عملکرد ذرت در سناریوهای اقلیمی مشابه با منطقه مورد بررسی قابل کاربرد است. در تحقیقی در زمینه‌ی شبیه‌سازی تولید ارقام گندم در اثر تغییر اقلیم در مشهد نشان داده شد که تغییر اقلیم باعث کاهش عملکرد دانه گندم تا ۳۰ درصد خواهد شد (Koocheki *et al*., 2006). در تحقیقی دیگر در رابطه با تأثیر تغییر اقلیم بر کشاورزی ایران مشاهده شد که میانگین عملکرد گندم، ذرت، نخود و چغندرقند در مناطق مختلف کشور در اثر تغییر اقلیم کاهش خواهند یافت (Koocheki and Nassiri Mahallati, 2016). در تحقیقی (Chen *et al*., 2012) تاثیر تغییر اقلیم را در استان شان دانگ از کشور چین بر روی ذرت تابستانه مورد بررسی قرار دادند، آنها گزارش کردند که در اقلیم آینده چین افزایش دما و کاهش بارندگی را خواهیم داشت و برای مقابله با این پدیده، استفاده از ارقام سازگار ذرت و کم‌آبی را بهترین استراتژی گزارش کردند. همچنین آنها به این نتیجه رسیدند که عملکرد ذرت ارقام مورد بررسی به‌ویژه ارقام بومی نسبت به سایر ارقام تحت اقلیم آینده چین (که با افزایش دما مواجه خواهد شد) به‌دلیل کوتاه‌تر شدن فصل رشد کاهش می‌یابد. Li *et al*. (2011) با بررسی اثر تغییر اقلیم بر ذرت در دو کشور ایالت متحده آمریکا و چین گزارش کردند که مدل AquaCrop توانایی پیش‌بینی عملکرد دانه و زیست‌توده را به‌خوبی دارد و تحت اقلیم آینده دو کشور مورد بررسی کاهش عملکرد ذرت و طول دوره رشد را خواهیم داشت که این امر به‌دلیل افزایش دما، کاهش بارندگی و افزایش دی‌اکسید کربن جو خواهد بود.

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق نشان داد که، در دوره آماری ۲۰۳۰-۲۰۱۱ میلادی در مقایسه با دوره ۲۰۱۰-۱۹۷۰ میانگین ماهانه دمای به مقدار ۱/۴۱، ۱/۳۵ و ۱/۵۶ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب در سناریوهای A1B، A2 و B1 افزایش، میانگین ماهانه بارش به مقدار ۶، ۱۱ و ۱۵ میلی‌متر به‌ترتیب در سناریوهای A1B، A2 و B1 کاهش خواهد یافت و در دوره آماری ۲۰۶۵-۲۰۴۶ میلادی در مقایسه با دوره ۲۰۱۰-۱۹۷۰ میانگین ماهانه دمای به مقدار ۲/۹، ۲/۶۹ و ۲/۳۲ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب در سناریوهای A1B، A2 و B1 افزایش خواهد یافت. هم‌چنین در طی این دوره، مقدار کاهش بارندگی به مقدار ۱۸، ۱۵ و ۱۴میلی‌متر به‌ترتیب در سناریوهای A1B، A2 و B1 پیش‌بینی شد. نتایج شبیه‌سازی عملکرد دانه و بیوماس کل ارقام ذرت تحت تاثیر مدیریت‌های آبیاری با استفاده از مدل AquaCrop نشان داد که متغیرهای آماری ریشه میانگین مربعات خطای عملکرد دانه و ماده خشک در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵، به‌ترتیب ۴۱۳ و ۸۹۱ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده عملکرد دانه و ماده خشک به‌ترتیب ۱۱ و ۱۰ درصد به‌دست آمد. همچنین با استفاده از داده‌های هواشناسی آینده مغان، طول دوره رشد هر سه رقم تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم کاهش یافت که کاهش طول دوره رشد سینگل کراس ۷۰۴ نسبت به سینگل کراس ۷۰۳ و ۷۰۵ کمتر بود. علاوه بر این، عملکرد در دوره (۲۰۳۰-۲۰۱۱) در سناریوهای A2 و B1 به‌ترتیب ۱۶ و ۹ درصد و در دوره (۲۰۶۵-۲۰۴۶) در سناریوهای A1B، A2 و B1 به‌ترتیب ۲۲، ۱۲ و ۱۸درصد کاهش یافت. همچنین کاهش ماده خشک در دوره (۲۰۳۰-۲۰۱۱) در سناریوهای A2 و B1 به‌ترتیب ۴ و ۷ درصد و در دوره (۲۰۶۵-۲۰۴۶) در سناریوهای A1B، A2 و B1 به‌ترتیب ۱۳، ۱۴ و ۱۲ درصد بود. بنابراین در اقلیم آینده مغان که با افزایش دما و کاهش بارندگی مواجه خواهد شد کشت گیاهان پرمصرف از نظر نیاز آبی توصیه نمی‌گردد و در مورد ذرت به‌خاطر مقاوم بودن به گرما بهتر از ارقام سازگار به شرایط آینده مغان استفاده کرد که در بین ارقام مورد مطالعه در این تحقیق مشاهده شد که ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ نسبت به سایر ارقام ذرت دارای کاهش طول دوره رشد، عملکرد دانه و زیست‌توده کمتری نسبت به رقم‌های دیگر بود و می‌توان این رقم را برای تغییر اقلیم آینده در منطقه مغان پیشنهاد داد.

سپاسگزاری

نگارندگان مقاله از کمک‌های بی‌دریغ آقایان مهندس حسین سمندر و پیمان رستمی در زمینه اجرای کارهای مزرعه‌ای کمال سپاسگزاری را دارند.

References

1. Abkar, A., Habibnajad, M., Solaimani, K., and Naghavi, H. 2013. Investigation efficiency SDSM model to simulate temperature indexes in arid and semi-arid regions. Water and Irrigation Engineer Journal 4 (14): 1-17. (in Persian).
2. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. 1998."Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements", Irrigation and Drainage paper no. 56. FAO, Rome, 1998.
3. Ansari, H., Khadivi, M., Salehnia, N., and Babaeian, I. 2015. Evaluation of Uncertainty LARS Model under Scenarios A1B, A2 and B1 in Precipitation and Temperature Forecast (Case Study: Mashhad Synoptic Stations). Iranian Journal of Irrigation and Drainage 4 (8): 664-672. (in Persian).
4. Ashraf, B., Alizadeh, A., Mousavi Baygi, M., and Bannayan Awal, M. 2014. Verification of Temperature and Precipitation Simulated Data by Individual and Ensemble Performance of Five AOGCM Models for North East of Iran. Journal of Water and Soil 28 (2): 253-266. (in Persian).
5. Babalola, O. S., and Akinsanola, A. A. 2016. Change Detection in Land Surface Temperature and Land Use Land Cover over Lagos Metropolis, Nigeria. Journal of Remote Sensing 5: 2-19.
6. Chen, G., Liu, H., Zhang, J., Liu, Peng, and Dong, S. 2012. Factors affecting summer maize yield under climate change in Shandong Province in the Huanghuaihai Region of China. International Journal of Biometeorology. 56: 621-629.
7. Daccache, A., Weatherhead, E. K., Stalham, M. A., and Knox, J. W. 2011. Impacts of climate change on irrigated potato production in a humid climate. Journal of Agriculture and Forest Meteorology 151(7):1641-1653.
8. Ding, D., Feng, H., Zhao, Y., Liu, W., Chen, H., and He, J. 2016. Impact assessment of climate change and later-maturing cultivars on winter wheat growth and soil water deficit on the Loess Plateau of China. Climate Change 138: 157-171.
9. Doorenbos, J., and Kassam, A. H. 1979. Yield response to water. Irrigation and Drainage paper no.33. FAO, Rome.
10. Hajarpour, A., Soltani, A., Zeinali, E., and Sayyedi, F. 2013. Simulating the impact of climate change on production of Chickpea in rainfed and irrigated condition of Kermanshah. Journal of Plant Production 20 (2): 235-252. (in Persian).
11. Hatfield, J. L., Boote, K. J., Kimball, B. A., Ziska, L. H., Izaurralde, R. C., Ort, D., Thomson A. M., and Wolfe, D. 2011. Climate Impacts on Agriculture: Implications for Crop Production. Agronomy Journal 103: 351-370.
12. Heydarinia, M., Nasery, A. A., and Borumand, S. 2012. Investigating the applicability of Aqua Crop model in plantation of sunflower irrigation in Ahvaz. Journal Mnagement System 5 (4): 37-50. (in Persian).
13. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Available online: http://ipcc.ch/publications and data/publications and data reports.shtml (accessed on 20 April 2016).
14. Jacovides, C. P., and Kontoyiannis, H. 1995. “Statistical procedures for the evaluation of Evapotranspiration computing models". Agricultural Water Management 27: 365-371.
15. Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2016. Climate Change Effects on Agricultural Production of Iran: II. Predicting Productivity of Field Crops and Adaptation Strategies. Iranian Journal of Field Crops Research 14 (1): 1-20. (in Persian).
16. Koocheki, A., Nassiri, M. Soltani, A. Sharifi, H., and R. Ghorbani. 2006. Effects of climate change on growth criteria and yield of sunflower and chickpea crops in Iran. Journal of Climate Research 14: 247-253.
17. Lhomme, J. P., Mougou, R., and Mansour, M. 2009. Potential impact of climate change on durum wheat cropping in Tunisia. Climate Change 96 (4): 549-564.
18. Li, X., Takahashi, T., Suzuki, N., and Kaiser, H. M 2011. The impact of climate change on maize yields in the United States and China. Agricultural Systems 104: 348-353.
19. Ma, L., Ahujaa, L. R., Islamb, A. T. J., Troutc, S. A., Saseendrand, R., and Malonee, W. 2017. Modeling yield and biomass responses of maize cultivars to climate change under full and deficit irrigation. Agricultural Water Management Journal 180: 88-98.
20. Mesbahboani, A. R., and Morid, S. 2005. Climate change effects on water resources and agricultural production. Case study: Isfahan Zayandeh-Doud Basin. Iranian Water Resources Research Journal 1 (4): 40-47. (in Persian).
21. Moradi, R, Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2013. Effect of Climate Change on Maize Production and Shifting of Planting Date as Adaptation Strategy in Mashhad. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 3 (4):111-131. (in Persian).
22. Nasiry, Sh., Shamsnia, A., and Aflatuni, M. 2014. Simulation of yield in wheat field using Aqua Crop model (Case study: Chaharmahal-Bakhtiari: Shahrekord, Borujen areas). 2sd National Conference on Water Crisis, Shahrekord University. April 8-9, 2014.
23. Raymond, C. L., Peterson, D. L., and Rochefort, R. M. 2014. Climate Change Vulnerability and Adaptation in the North Cascades Region, Washington; General Technical Report-Pacific Northwest Research Station; USDA Forest Service: Washington, DC, USA, 2014; pp. 1-279.

24. Richard, C., Sicher, K., and James, A. 2015. The Impact of Enhanced Atmospheric CO_2 Concentrations on the Responses of Maize and Soybean to Elevated Growth Temperatures. Springer International Publishing Switzerland 2015. Food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. Global Environment Change 14: 53-67.
25. Rootaei, M., Sohrabi, T., Massah Bavani, A., and Ahadi, M. S. 2012, “Risk Evaluation of Biomass Yield of Corn Affected by Climate Change”, Journal of Water Research in Agriculture 26 (4): 425-438. (in Persian).
26. Roustaie, M., Sohraby, T., Mesbah Boani, A., and Ahadi, M. S. 2011. Risk assessment of maize biomass yield under the influence of climate change (Case study: Pakdasht, Iran). 1st National Conference on Meteorology and Water Management. Novomber 5-6, 2011. 11 pages. (in Persian).
27. Roustaie, M., Sohraby, T., Mesbah Boani, A., and Ahadi, M. S. 2012. Risk assessment of maize biomass yield under the influence of climate change. Journal of Water Research in Agriculture 4 (26): 425-438. (in Persian).
28. Sayari, N., Alizadeh, A., Banayan, M., Farid Hoseiny, A., and Hesami Kermani, M. R. 2011. Investigation of drought trend under climate change conditions in Kashfrud basin in future periods using model of HadCM3 and two scenarios of A2 and B2. Journal of Climatology 2 (7-8): 22-42. (in Persian).
29. Soleymani Nanadegani, M., Parsinejad, M., Araghinejad, Sh., and Massah Bavani, A. 2011. Study on Climate Change Effect on Net Irrigation Requirement and Yield for Rainfed Wheat (Case Study: Behshahr). Journal of Water and Soil 25 (2): 389-397. (in Persian).
30. Soltani, A., and Gholipoor, M. 2006. Simulating the impact of climate change on growth, yield and water use of chiclpea. Journal of Agriculture Science and Nature Resources 13 (2): 1-11. (in Persian).
31. Steduto, P., Raes, D., Hsiao, T. C., Fereres, E., Heng, L., Izzi, G., and Hoogeveen, J. 2005. "AquaCrop: a new model for crop prediction under water deficit conditions". Options Méditerranéennes. 80: 202-214.
32. Steduto, P., Raes, D., Hsiao, T. C., Fereres, E., Heng, L., Izzi, G. and Hoogeveen, J. 2015. "AquaCrop: a new model for crop prediction under water deficit conditions". Options Méditerranéennes 80: 220-230.
33. Steduto, P., Raes, T., Hsiao, T. C. Fereres, E., Heng, L., Izzi, G., and Hoogeveen, J. 2009. AquaCrop: a new model for crop prediction under water deficit conditions. Options Mediterranennes 80: 285-292.
34. Tacarindua, C. R., Shiraiwa, T., Homma, K., Kumagai, E., and Sameshima, R. 2013. The effects of increased temperature on crop growth and yield of soybean grown in a temperature gradient chamber. Field Crops Research 154 (1):74-81.
35. Vatankhah Sadat, A. 2009. Feasibility regions cultivation of citrus in Prsabad Moghan. M.Sc., Thesis. Azad University, Ahar branch, 95 p.
36. Wilcox, J., and Makowski, D. 2014. A meta-analysis of the predicted effects of climate change on wheat yield using simulation studies. Field Crops Research 156 (2): 180-190.
37. Zarghami, M., Abdi, A., Babaeian, I., Hasanzadeh, Y., and Kanani, R. 2011. Impacts of climate change on runoffs in East Azerbaijan, Iran. Global and Planetary Change 78: 137-146.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 1, Spring. 2019, p. 141-155

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص. ۱۵۵-۱۴۱

Simulation the Effect of Climate Change on Growth Period and Yield of three Hybrids of Maize (*Zea mays*) under Low Irrigation Conditions (Case study: Moghan Plain)

A. A. Rostami Ajirloo[1*], M. R. Asgharipour[2], A. Ganbari[3], M. Joudi[4], M. Khoramivafa[5]

Received: 21-04-2018
Accepted: 21-07-2018

Introduction: According to the present state of climate science, the increase in greenhouse gas concentrations will result in changes of the climate parameters; particularly, an increase of the global temperature and changes in precipitation are expected. These changes in climate, which are likely to occur during future decades, may have significant consequences (positive or negative) on the development, growth, and crops yield. Climate change and its impacts on water recourses is known as one of the most important challenges which human would be faced with it in future century. Future climate change in each region can be predicted through the models of the Globa Circulation Model (GCM). It is also possible to investigate the effect of climate change on the yield and the water requirement of plants using performance predictive models as Aquacrop model. The main objective of this study is to assess the effect of climate change on the future climate of Moghan plain and also, simulation three corn hybrids parameters such as grain yield, biomass yield and growth period of corn, under different irrigation treatments.

Materials and Methods: In this study, AquaCrop model was used to simulate grain yield and biomass of different maize hybrids under the future climate in different irrigation treatments. For this purpose, rainfall data, minimum temperature, maximum temperature and sunshine model of the LARS-WG fine-scale model with using six general circulation models (ADCM3, HadCM3, IPCM4, GFCM2, NCCCSM INCM3), for which three scenarios the fourth report of the Climate Change Board (A1B, A2, and B1) was predicted and reviewed for the Moghan region during 1970-2010, 2011-2030 and 2046-2065. AquaCrop model was calibrated and validated by field data (2015 and 2016 year), corn plants collected in the area. Then, the grain and biomass yield values in the upcoming periods for different irrigation treatments (I1 = normal irrigation, I2 = irrigation cut off at vegetative growth stage, I3 = irrigation cut during flowering stage and I4 = irrigation cut off at the seed filling stage) different maize hybrids (C1 = SC704, C2 = SC703 and C3 = SC705).

Results and Discussion: According to the results, in the statistical period of 2011-2030 compared base periods (1970-1999), the average monthly temperature was 1.41, 1.35, and 1.66 ° C, respectively for scenarios A1B, A2, and B1. Also, the average monthly rainfall will be reduced to of 6, 11 and 15 mm, respectively, for scenarios A1B, A2 and B1, and during 2046-2065 periods, compared to period of 1979-2010. Furthermore, the monthly average of the temperature will be increased to 2.9, 2.69 and 2.32 ° C respectively, for scenarios A1B, A2 and B1. During this period, the amount of rain reduction was estimated at 18, 15 and 14 millimeters, respectively, in scenarios A1B, A2, and B1. The results of simulation of grain yield and total biomass of maize cultivars under the influence of irrigation administrations using AquaCrop model showed that the root mean square variables of seed and dry matter yield errors in years 2015 and 2016 were 413 and 891 $kg.ha^{-1}$. The root mean square mean of normalized error of seed and dry matter yield was 11 and 10%, respectively. Also, with using future meteorological data under different scenarios was observed that growth period, grain yield and biomass yield during 2011-2030 and 2046-2065 periods for three scenarios A2, B1 A1B were decreased. Among the cultivars studied, Hybrid SC704 corn had more growth and yield than other corn hybrids, and this figure could be recommended for future climate change for Moghan area.

Conclusions: Future meteorological data under different scenarios of climate change will decrease growth period, grain yield and biomass yield during 2011-2030 for scenarios A1B, A2 and B1, respectively, 7 %, 16 % and 9%, and during period 2045-2065 for scenarios A1B, A2 and B1, respectively, 13 %, 14 % and 12 percent.

1- PhD of Agroecology, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Zabol University
2 and 3- Associate Professor and Professor of Agroecology Respectively, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Zabol University
4- Associate Professor, Meshgin-shahr Faculty of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili
5- Assistant Professor of Agroecology, Razi University of Kermanshah
(*- Corresponding Author Email: abasat.rostami@yahoo.com)

Among the cultivars studied, the growth period of SC 704 hybrid was higher for all three scenarios than other hybrids and it has more growth and yield, therefore can recommended to change future climate for Moghan region.

Keywords: AquaCrop model, Climate, Drought stress, Water crisis